



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2025. Т. 25, вып. 1. С. 13–19  
*Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2025, vol. 25, iss. 1, pp. 13–19  
<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-1-13-19>, EDN: FROCTD

Научная статья  
УДК 628.45



## Оптимизация размещения объектов сбора и переработки твердых коммунальных отходов (на примере Балашовского района Саратовской области)

Д. В. Папилин<sup>✉</sup>, М. Ю. Проказов

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Папилин Дмитрий Вячеславович, магистрант, [dmitrypapillinv@mail.ru](mailto:dmitrypapillinv@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0001-2401-5392>

Проказов Михаил Юрьевич, кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и ландшафтной экологии, [mp37@mail.ru](mailto:mp37@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8765-4321>

**Аннотация.** Проблема обращения с твердыми коммунальными отходами в России становится всё более актуальной, требуя внедрения эффективных территориально-ориентированных решений. В статье анализируются вопросы оптимизации размещения объектов сбора и переработки твердых коммунальных отходов на примере Балашовского района Саратовской области. Основное внимание уделяется использованию методов линейного программирования и геоинформационного моделирования для выбора оптимальных мест размещения мусороперерабатывающих заводов. Применение ГИС-технологий и методов пространственного анализа позволило провести зонирование территории и оценку экологических рисков. Разработана оптимальная схема размещения объектов сбора и переработки твердых коммунальных отходов для Балашовского района Саратовской области. Предложенная схема позволяет минимизировать затраты на транспортировку отходов и максимизировать эффективность их переработки, что способствует созданию более устойчивой и экономически выгодной системы обращения с отходами в регионе.

**Ключевые слова:** твердые коммунальные отходы, оптимизация размещения, мусороперерабатывающий завод, Саратовская область, Балашовский район, геоинформационные системы, экономическая оценка

**Для цитирования:** Папилин Д. В., Проказов М. Ю. Оптимизация размещения объектов сбора и переработки твердых коммунальных отходов (на примере Балашовского района Саратовской области) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2025. Т. 25, вып. 1. С. 13–19. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-1-13-19>, EDN: FROCTD

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

**Optimizing the placement of municipal solid waste collection and processing facilities (using the example of Balashovsky district of the Saratov region)**

D. V. Papilin<sup>✉</sup>, M. Yu. Prokazov

Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

Dmitry V. Papilin, [dmitrypapillinv@mail.ru](mailto:dmitrypapillinv@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0001-2401-5392>

Mikhail Yu. Prokazov, [mp37@mail.ru](mailto:mp37@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8765-4321>

**Abstract.** The problem of solid municipal waste (SMW) management in Russia is becoming increasingly relevant, requiring the implementation of effective territorially-oriented solutions. The article analyzes the issues of optimizing the placement of SMW collection and processing facilities using the example of Balashovsky district of the Saratov region. The main focus is on using linear programming methods and geoinformation modeling to select optimal locations for waste processing plants. The application of GIS technologies and spatial analysis methods allowed for zoning of the territory and assessment of environmental risks. An optimal scheme for the placement of SMW collection and processing facilities for Balashovsky district of the Saratov region has been developed. The proposed scheme minimizes waste transportation costs and maximizes processing efficiency, contributing to the creation of a more sustainable and economically viable waste management system in the region.

**Keywords:** solid municipal waste, placement optimization, waste processing plant, Saratov region, Balashovsky district, geographic information systems, economic assessment

**For citation:** Papilin D. V., Prokazov M. Yu. Optimizing the placement of municipal solid waste collection and processing facilities (using the example of Balashovsky district of the Saratov region). *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2025, vol. 25, iss. 1, pp. 13–19 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-1-13-19>, EDN: FROCTD

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)



## Введение

Проблема утилизации и переработки твёрдых коммунальных отходов (ТКО) остаётся одной из наиболее острых экологических проблем в России. Несмотря на введение федеральных программ по улучшению системы обращения с отходами, таких как национальный проект «Экология», федеральный проект «Комплексная система обращения с твёрдыми коммунальными отходами» [1], значительная часть отходов продолжает захораниваться на полигонах, что создаёт угрозу загрязнения почвы, воздуха и воды. По данным Росстата, в 2020 г. было собрано более 60 млн т ТКО, из которых только 10% было переработано [2]. Это подчеркивает необходимость в оптимизации размещения объектов, связанных с их сбором, транспортировкой и переработкой. Как отмечает С. Бин, логистика управления твердыми коммунальными отходами представляет собой сложную задачу, требующую комплексного подхода к планированию и оптимизации маршрутов [3].

В Саратовской области проблема переработки твердых коммунальных отходов стоит особенно остро. По данным регионального министерства природных ресурсов и экологии, в области ежегодно образуется около 1.5 млн т ТКО, при этом уровень их переработки не превышает 7–10% [4]. На текущий момент в регионе функционирует только одно крупное предприятие по переработке ТКО – ООО «Управление отходами», расположенное в Энгельском районе. Это не позволяет эффективно решать проблему утилизации отходов во всей области. Особенно остро стоит вопрос в отдаленных районах, таких как Балашовский, где транспортировка отходов на существующий завод экономически нецелесообразна. Таким образом, оптимизация размещения объектов сбора и переработки ТКО в Саратовской области, в частности, в Балашовском районе, является крайне актуальной задачей, решение которой позволит значительно улучшить экологическую ситуацию в регионе и повысить эффективность управления отходами.

Целью исследования является разработка оптимальной схемы размещения объектов сбора и переработки ТКО на территории Саратовской области. В качестве объектов исследования выбран Балашовский район Саратовской области.

В ходе исследования решались следующие задачи:

- 1) изучить теоретические основы оптимизации размещения объектов ТКО, включая методы и критерии выбора мест для мусороперерабатывающих заводов (МПЗ);
- 2) провести анализ географических, экономических и экологических факторов, влияющих на выбор мест для размещения МПЗ;

- 3) разработать и протестировать модель оптимизации размещения точек сбора и переработки ТКО, выполнить экономическую оценку предложенной схемы.

## Предшествующие исследования

Исследование основано на комплексном анализе данных из различных источников и применении современных методов оптимизации и пространственного анализа.

В своих работах отечественные и зарубежные авторы неоднократно поднимали вопрос оптимизации схем обращения с отходами. Так, значительный интерес представляет исследование В. В. Рубинова и В. А. Фетисова «Разработка модели оптимизации потоков ТКО на уровне маршрутов» [5]. Авторы предлагают многоуровневую модель оптимизации потоков ТКО, учитывающую не только расстояния между пунктами сбора и переработки, но и временные затраты на транспортировку. Ключевые аспекты их подхода включают:

- использование теории графов для моделирования маршрутов;
- учет временных окон для вывоза ТКО из различных районов;
- применение эвристических алгоритмов для решения задачи маршрутизации.

Другой важный вклад в решение проблемы оптимизации обращения с ТКО внес Р. С. Роггулин с соавторами в работе «Решение транспортной задачи линейного программирования с учетом времени и максимального потока» [6]. Он предлагает комплексный подход к решению транспортной задачи, комбинируя методы линейного программирования с анализом максимального потока в сети. Основные положения его метода включают:

- использование модифицированного симплекс-метода для учета временных ограничений;
- применение алгоритма Форда–Фалкерсона для определения максимального потока;
- интеграцию ГИС для визуализации и анализа результатов.

Значительный вклад в исследование проблем оптимизации управления отходами внесли зарубежные ученые. Исследование А. Generowicz с соавторами [7] фокусируется на применении методов многокритериального анализа для оптимизации размещения объектов переработки отходов. Коллектив китайских авторов [8] разработал модель оптимизации маршрутов сбора отходов с использованием генетических алгоритмов, что позволило значительно сократить затраты на транспортировку.

В работе Х. Ху с соавторами [9] рассматриваются возможности проектирования сети сбора и переработки отходов с учетом неопределенности входных данных.



Для предложенной в данной статье модели авторы в качестве источников данных использовали картографические материалы: топографические и геологические карты, карты почв, углов наклона поверхности и гидрографии для Балашовского района Саратовской области [10], статистические данные: отчёты Росстата и данные Министерства природных ресурсов и экологии Саратовской области [11], технические нормативы: СНИПы и СП, касающиеся проектирования промышленных объектов, расчётов нагрузок, климатологических данных и защиты строительных конструкций [12].

## Материалы и методы

В работе применялись следующие методы и инструменты.

1. *Геоинформационные системы (ГИС)*. ГИС использовались для пространственного зонирования и кластеризации территорий на основе коэффициента отходов на жителя, а также для анализа географических и экологических характеристик районов. Этот подход согласуется с исследованием G. Chiani с соавторами [13], предложивших модель размещения пунктов сбора отходов в городских системах управления отходами.

2. *Кластеризация территории методом K-средних*. Для разделения точек сбора ТКО на кластеры применялся алгоритм K-means [14]. Математически это можно описать следующим образом:

Пусть  $x_1, \dots, x_n$  – множество точек сбора ТКО, где каждая точка  $x_i$  представлена координатами (широта, долгота). Цель алгоритма – разбить  $n$  точек на  $k$  кластеров  $S = S_1, \dots, S_k$ , минимизируя сумму квадратов расстояний от точек до центров их кластеров:

$$\min \sum_{i=1}^k \sum_{x_j \in S_i} |x_j - \mu_i|^2,$$

где  $S = \{S_1, \dots, S_k\}$  – множество кластеров,  $x_j$  – координаты точки сбора ТКО,  $\mu_i$  – центроид кластера.

3. *Линейное программирование*. Методы линейного программирования использовались для оптимизации размещения объектов сбора ТКО и определения наилучших мест для строительства мусороперерабатывающего завода (МПЗ). Главной целью оптимизации являлась минимизация затрат на транспортировку отходов при максимальном охвате населения перерабатывающими мощностями.

4. *Алгоритм поиска кратчайшего пути (алгоритм Дейкстры)*. Для оптимизации маршрутов использовался алгоритм Дейкстры [15]. Пусть  $G(V, E)$  – граф, где  $V$  – множество вершин

(перекрестков),  $E$  – множество рёбер (дорог). Алгоритм находит кратчайший путь от начальной вершины  $s$  до всех остальных вершин.

Инициализация:  $d(s) = 0$ ,  $d(v) = \infty$  для всех  $v \neq s$ .

Пока есть непосещённые вершины:

- а) выбрать вершину  $u$  с минимальным  $d(u)$ ,
- б) для каждого соседа  $v$  вершины  $u$ :  
если

$$d(v) > d(u) + w(u, v), \text{ то } d(v) = d(u) + w(u, v),$$

где  $d(v)$  – кратчайшее известное расстояние до вершины  $v$ ,  $w(u, v)$  – вес ребра между  $u$  и  $v$ .

5. *Территориальный анализ*. Методы территориального анализа позволили провести комплексную оценку участков для строительства: геоморфологический анализ выявил пригодные территории на основе уклона поверхности, гидрографии и наличия эрозионных процессов, экологический анализ помог минимизировать негативное воздействие строительства. А. В. Востряковым, Ф. И. Ковальским были исследованы и геологические условия территории, в частности литология [16].

6. *Оценка эффективности оптимизации*. Для оценки эффективности оптимизации использовались следующие метрики:

- а) сокращение общей длины маршрутов:

$$\Delta L = L_{\text{initial}} - L_{\text{optimized}},$$

где  $L_{\text{initial}}$  – изначальное расстояние,  $L_{\text{optimized}}$  – оптимизированное расстояние;

- б) экономия транспортных издержек:

$$\Delta F = (L_{\text{initial}} - L_{\text{optimized}}) \cdot \left( \begin{array}{c} \text{Цена топлива} \\ \text{за 1 км} \end{array} \right);$$

- в) сокращение выбросов CO<sub>2</sub>:

$$\Delta \text{CO}_2 = (L_{\text{initial}} - L_{\text{optimized}}) \cdot \left( \begin{array}{c} \text{Выбросы CO}_2 \\ \text{на 1 км пути} \end{array} \right).$$

7. *Визуализация результатов*. Для наглядного представления результатов использовались методы геопространственной визуализации, включая построение карт с помощью библиотеки Folium и визуализацию кластеров с использованием scatterplot в Matplotlib.

8. *Экономическая оценка проекта* произведена согласно методике, разработанной М. В. Березюком с соавторами [17]. Норма амортизационных отчислений рассчитывается по формуле:

$$K = \left( \frac{1}{n} \right) \cdot 100\%,$$

где  $K$  – норма амортизации в процентах,  $n$  – срок полезного использования основного средства в годах,

$$K = \left( \frac{1}{5} \right) \cdot 100\% = 20\%.$$

При проведении экономической оценки проекта были учтены принципы инвестиционного



анализа, изложенные в работе Т. В. Тепло-вой [18].

Дополнительно на основе методики Н. М. Ларионова, А. С. Рябышенкова [19] были проведены расчеты экономической эффективности оптимизации маршрутов сбора ТКО.

### Результаты и их обсуждение

В результате территориального анализа был выбран Балашовский район Саратовской области как наиболее перспективный для планируемой постройки мусороперерабатывающего завода. Этот район характеризуется высокой степенью заполненности существующих полигонов для ТКО и удалённостью от действующих мусороперерабатывающих заводов, что затрудняет эффективную переработку отходов.

Для наглядного представления результатов кластеризации был создан график (рис. 1), отображающий пространственное распределение точек сбора ТКО. Такая визуализация помогает лучше понять пространственную структуру оптимизированной системы сбора и переработки ТКО в Балашовском районе.

На основе кластеризации были выделены точки сбора ТКО и проведена их оптимизация размещения, что позволило равномерно распределить нагрузку на транспортную систему района (рис. 2).

Расчеты экономической эффективности оптимизации маршрутов сбора ТКО должны учитывать следующие исходные данные.

1. Расход топлива: используемый автомобиль (Камаз 3517В ш. 65117) расходует в среднем 34 литра на 100 км, или 0.340 литров на 1 км.

2. Стоимость топлива: в Саратовской области цена на 1 литр дизельного топлива составляет 63.35 руб. Таким образом, стоимость топлива на 1 км пути составляет 21.539 руб.

3. Выбросы CO<sub>2</sub>: рассчитаны по формуле  $CO_2 \text{ (кг/км)} = \text{Расход топлива (л/100 км)} \times 2.68/100$ . Для нашего случая это составляет 0.938 кг CO<sub>2</sub> на 1 км пути.

Оптимизация размещения точек сбора ТКО позволила сократить расстояние маршрутов транспорта вывоза, результаты представлены в табл. 1.

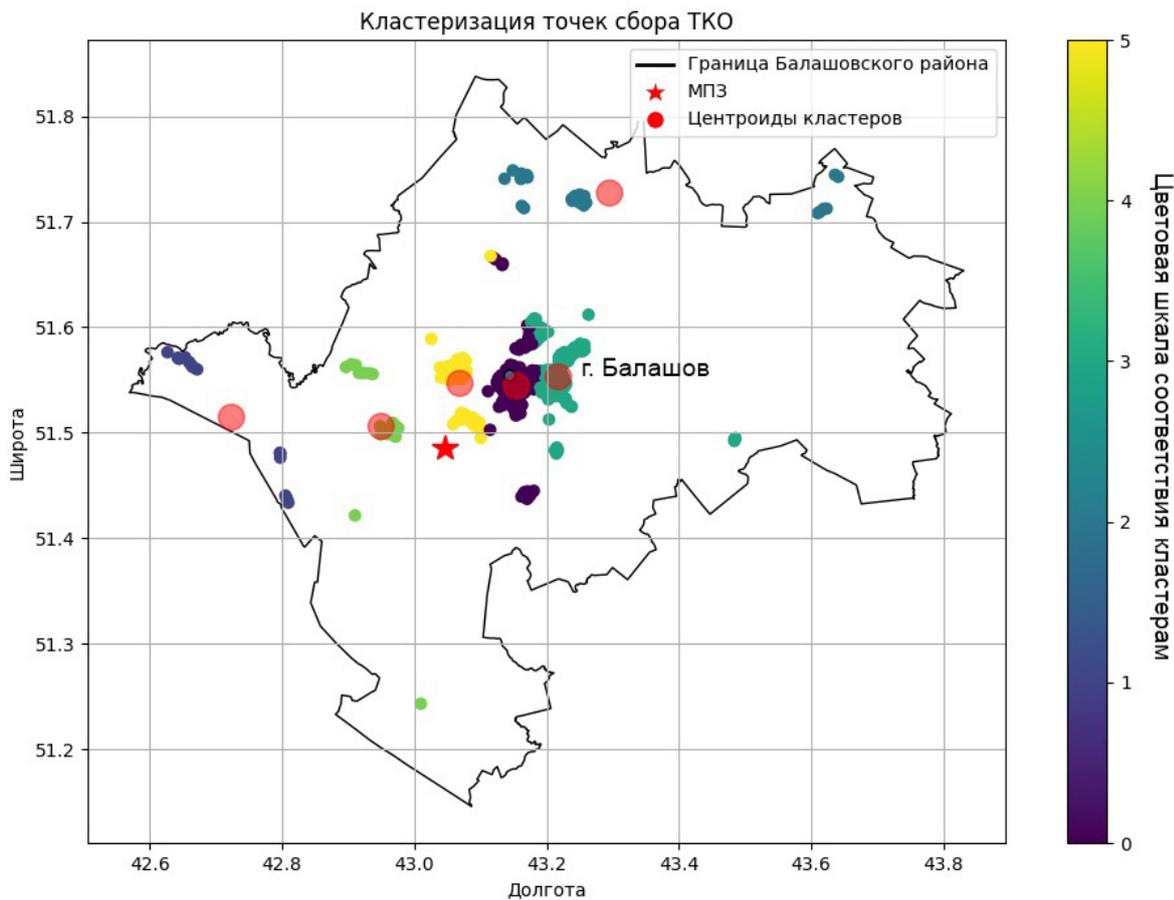


Рис. 1. Результат кластеризации точек Балашовского района Саратовской области (расположение предлагаемого мусороперерабатывающего завода отмечено красной звездочкой, а центроиды кластеров – большими полупрозрачными красными кругами) (цвет онлайн)

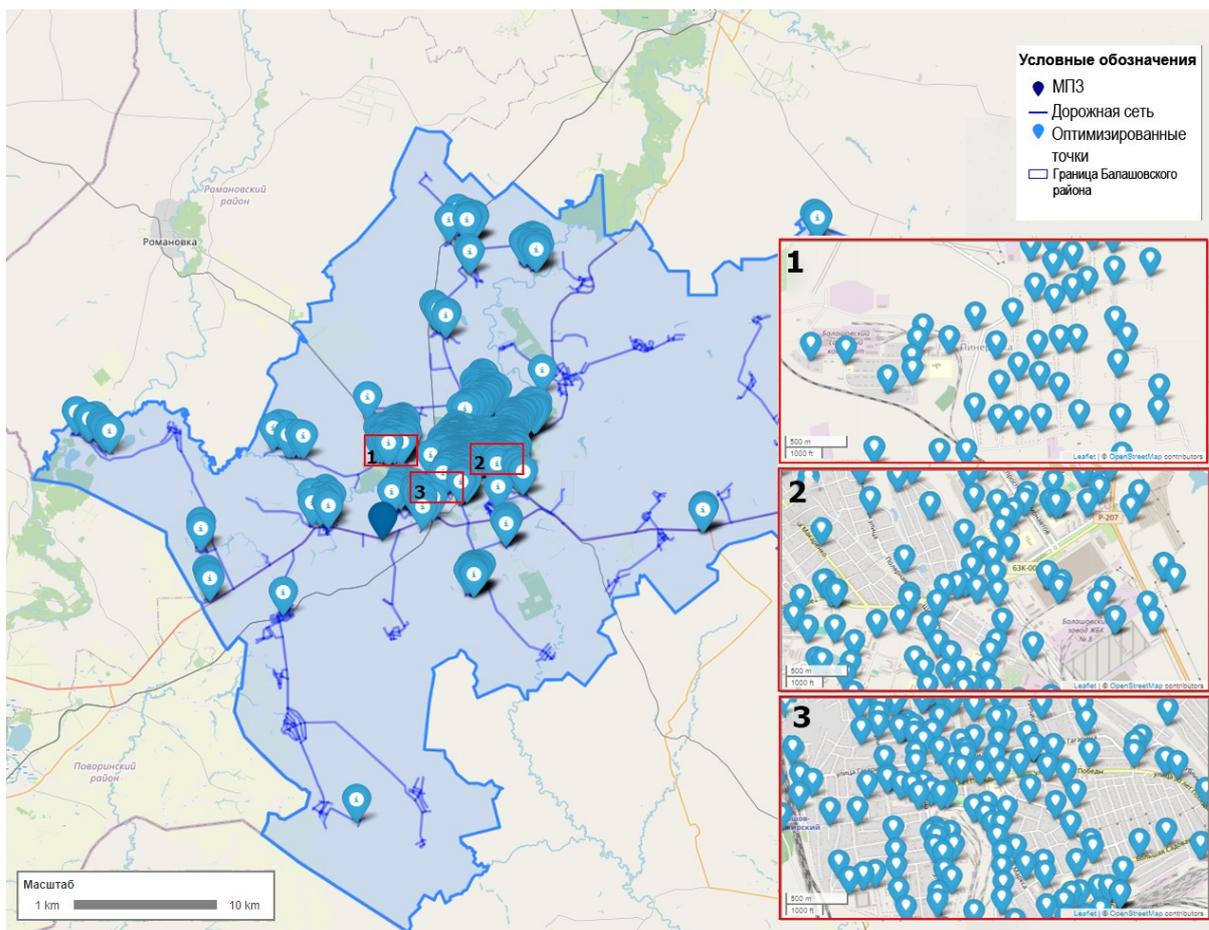


Рис. 2. Схема оптимизированных точек сбора ТКО в Балашовском районе Саратовской области (цифрами 1, 2, 3 отображена территория северо-западной, восточной и южной частей г. Балашова соответственно) (цвет онлайн)

Таблица 1

**Сравнительная характеристика существующей и предлагаемой модели**

Показатель	Существующая модель	Предложенная модель	Изменение	Преимущества новой модели
Среднее расстояние между точками	0.11 км	0.08 км	-27.27%	Более равномерное распределение точек сбора
Общая длина маршрутов	11139.60 км	8735.23 км	-21.58%	Снижение времени в пути и затрат на обслуживание
Общая стоимость топлива	239935.84 руб.	188148.12 руб.	-51787.72 руб.	Существенная экономия топлива
Выбросы CO <sub>2</sub>	10448.94 кг	8193.65 кг	-2255.29 кг	Снижение экологической нагрузки и выбросов
Количество точек сбора	668	554	-17.07%	Оптимизация количества точек сбора
Средняя длина маршрута	16.68 км	12.34 км	-26.02%	Более эффективные маршруты
Стоимость топлива на маршрут	359.27 руб.	265.79 руб.	-26.02%	Экономия на топливе на каждом маршруте
Выбросы CO <sub>2</sub> на маршрут	15.65 кг	11.57 кг	-26.02%	Снижение выбросов на каждый маршрут



Анализ результатов показывает, что предложенная модель значительно улучшает эффективность системы сбора и переработки ТКО. Сокращение общей длины маршрутов на 21.58% и снижение затрат на топливо на 26.02% подтверждают экономическую целесообразность новой схемы. Кроме того, уменьшение выбросов CO<sub>2</sub> на 2255.29 кг свидетельствует о положительном экологическом эффекте оптимизации.

Экономическая оценка проекта была произведена следующим образом. Стоимость строительства одного мусороперерабатывающего завода мощностью 100 тыс. т в год составляет 202.4 млн руб. Окупаемость проекта прогнозируется на уровне 3 лет. Величину амортизации считаем линейным методом, исходя из стоимости оборудования 7057006 руб. и срока эксплуатации 5 лет. Амортизационные отчисления составят:

$$A = \left( \frac{7057006 \cdot 0.2}{12} \right) = 117617 \text{ руб./месяц.}$$

Предположим, что операционные расходы составляют 50% от выручки, тогда среднегодовая чистая прибыль будет составлять 478.5 млн руб.

Существуют и факторы риска, которые могут возникнуть в процессе производства и привести к ухудшению финансового положения предприятия на разных стадиях его существования [20]. Общий перечень рисков указан в табл. 2.

Представленные риски охватывают ключевые аспекты производственной деятельности: инфраструктурные, экономические, кадровые и технологические. Основные угрозы связаны с ростом затрат (на сырьё, налоги, освоение технологий), нехваткой квалифицированных кадров и ресурсных резервов, а также с поломками оборудования и нестабильностью качества сырья. Для снижения их влияния рекомендуется оптимизировать внутренние процессы, улучшить кадровую политику, внедрить профилактическое обслуживание оборудования и использовать долгосрочные контракты с поставщиками.

## Заключение

Результаты исследования показали, что предложенная схема размещения объектов ТКО в Балашовском районе Саратовской области может существенно улучшить экономический критерий системы обращения с отходами в регионе. Оптимизация размещения мусороперерабатывающих заводов и точек сбора ТКО позволит не только сократить затраты на транспортировку отходов, но и повысить уровень переработки отходов, снизив тем самым нагрузку на окружающую среду. Использование системы графов для моделирования маршрутов и экономическая эффективность предложенной схемы подтверждают её целесообразность. Кроме того, важно отметить, что оптимизация маршрутов сбора ТКО значительно снижает выбросы CO<sub>2</sub>, что способствует улучшению экологической ситуации в регионе. Предложенная методика будет актуальна для других районов Саратовской области [21]. В целом реализация предложений настоящей работы может рассматриваться как один из значимых элементов позитивных экологических изменений в регионе [22].

## Библиографический список

1. Федеральный проект «Комплексная система обращения с твёрдыми коммунальными отходами». URL: <https://www.gosproject.ru/project/waste-management> (дата обращения: 11.04.2024).
2. Основные показатели охраны окружающей среды / Федеральная служба государственной статистики (Росстат). М., 2020. URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 11.04.2024).
3. Bing X., Bloemhof J. M., Ramos T. R. P., Barbosa-Povoa A. P., Wong C. Y., van der Vorst J. Research challenges in municipal solid waste logistics management // Waste Management. 2016. Vol. 48. P. 584–592. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.11.025>

Таблица 2

Риски производства на разных стадиях производства

Вид риска	Отрицательное влияние
Удалённость от инженерных сетей	Дополнительные капитальные вложения на проведение электроэнергии, тепла, воды
Рост налогов	Уменьшение чистой прибыли
Рост цен на сырьё, материалы, перевозки	Снижение прибыли из-за роста цен
Квалификация кадров	Снижение ритмичности, рост брака, увеличение аварий
Поломка оборудования	Увеличение простоев и затрат на ремонт
Нестабильность качества сырья	Уменьшение объемов производства из-за переналадки оборудования, снижение качества продукта
Новизна технологий	Увеличение затрат на освоение, снижение объемов производства
Отсутствие резерва мощностей	Невозможность покрытия пикового спроса, потери производства при авариях



4. Территориальная схема обращения с отходами Саратовской области / Министерство природных ресурсов и экологии Саратовской области. URL: [https://www.minforest.saratov.gov.ru/info/?SECTION\\_ID=89](https://www.minforest.saratov.gov.ru/info/?SECTION_ID=89) (дата обращения: 10.12.2024).
5. Рубинов В. В., Фетисов В. А. Разработка модели оптимизации потоков ТКО на уровне маршрутов // Системный анализ и логистика. 2021. № 4 (30). С. 68–75. <https://doi.org/10.31799/2077-5687-2021-4-68-75>, EDN: HAMJQE
6. Розулин Р. С., Нечаев П. В., Плешанов Д. Е. Решение транспортной задачи линейного программирования с учетом времени и максимального потока // Транспортное дело России. 2018. № 4. С. 79–82. EDN: XWTRWX
7. Generowicz A., Kowalski Z., Kulczycka J. Planning of Waste Management Systems in Urban Area Using Multi-Criteria Analysis // Journal of Environmental Protection. 2011. Vol. 2. P. 736–743. <https://doi.org/10.4236/jep.2011.26085>
8. Zhang Y., Luo X., Han X., Lu Y., Wei J., Yu C. Optimization of Urban Waste Transportation Route Based on Genetic Algorithm // Security and Communication Networks. 2022. Vol. 2022. Article ID 8337653. <https://doi.org/10.1155/2022/8337653>
9. Xu X., Wang F., Chen Y., Yang B., Zhang S., Song X., Shen L. Design of urban medical waste recycling network considering loading reliability under uncertain conditions // Computers & Industrial Engineering. 2023. Vol. 183. Article ID 109471. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109471>
10. Балашовский район: гипсометрическая карта [Карты] / сост. и подгот. к изд. Саратовгражданпроект. Масштаб 1:300 000. Саратов : Саратовгражданпроект, 2008.
11. О состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2022 году. URL: [https://minforest.saratov.gov.ru/info/?SECTION\\_ID=65&ELEMENT\\_ID=4622](https://minforest.saratov.gov.ru/info/?SECTION_ID=65&ELEMENT_ID=4622) (дата обращения: 10.12.2024).
12. СП 56.13330.2011 Производственные здания. Актуализированная редакция СНиП 31-03-2001. М. : Стандартинформ, 2017. 52 с.
13. Ghiani G., Laganà D., Manni E., Triki C. Capacitated location of collection sites in an urban waste management system // Waste Management. Vol. 32, № 7. P. 1291–1296. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.02.009>
14. Scikit-learn developers. DBSCAN: Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise // Scikit-learn : Machine learning in Python. URL: <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.cluster.DBSCAN.html> (дата обращения: 11.04.2024).
15. Левитин А. Алгоритмы: введение в разработку и анализ. М. : Вильямс, 2006. 574 с.
16. Востряков А. В., Ковальский Ф. И. Геология и полезные ископаемые Саратовской области : учеб. пособие. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1986. 125 с.
17. Березюк М. В., Румянцева А. В., Румянцева Е. И. Эколого-экономическое обоснование проекта по переработке твердых коммунальных отходов на основе современных технологий // Вестник ВГУ. Серия : Экономика и управление. 2017. № 3. С. 31–38. EDN: YKHFQN
18. Теплова Т. В. Инвестиции : учебник и практикум для вузов ; 2-е изд., перераб. и доп. М. : Юрайт, 2024. 781 с.
19. Ларионов Н. М., Рябышенков А. С. Промышленная экология : учебник и практикум для вузов ; 4-е изд., перераб. и доп. М. : Юрайт, 2024. 472 с.
20. Экономика природопользования : учебник / под ред. К. В. Папенова. М. : Изд-во Московского университета, 2012. 900 с.
21. Ильченко И. А., Макарецова Л. В., Преображенский Ю. В., Цоберг О. А. География хозяйства Саратовской области. Саратов : ИЦ «Наука», 2018. 99 с. EDN: WMNJUU
22. Преображенский Ю. В., Клюкин С. С. «Зелёные» технологии в обрабатывающей промышленности российских регионов // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле. 2024. Т. 24, вып. 4. С. 222–229. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-222-229>, EDN: VXUMON

Поступила в редакцию 03.10.2024; одобрена после рецензирования 17.11.2024; принята к публикации 19.12.2024; опубликована 28.02.2025

The article was submitted 03.10.2024; approved after reviewing 17.11.2024; accepted for publication 19.12.2024; published 28.02.2025